©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Veröffentlichungen des Österreichischen Nationalkomitees für das Internationale Biologische Programm (I. B. P.).
Abteilung: Produktionsbiologie des Festlandes. Arbeitsgruppe des II. Zoologischen Institutes unter Leitung von Professor Dr. WILHELM KÜHNELT.

Nr. 2

Über die Bodenatmung im Schilfgürtel des Neusiedler Sees

Von Dr. A. Z. FARAHAT und Dr. H. NOPP

Mit 10 Abbildungen

(Eingereicht in der Sitzung am 15. Dezember 1966)

I. Einführung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung der biologischen Aktivität der Schlammböden im Schilfgürtel des Neusiedler Sees, um einen Einblick in den Stoffumsatz im Boden zu gewinnen und die wichtigsten Einflüsse festzustellen, von denen die Höhe des Stoffumsatzes bestimmt wird. (Die Arbeit wurde als Teil des österreichischen Beitrages zum Internationalen Biologischen Programm ausgeführt, in dessen Rahmen die Produktionsbiologie der Fauna und Flora des Neusiedler Sees erforscht werden soll).

Das Studium der Bodenatmung zog das Interesse von Biologen wie auch von land- und forstwirtschaftlich orientierten Untersuchern auf sich, wobei die Bodenatmung recht verschieden definiert und dementsprechend verschiedene Methoden verwendet wurden. Eine Übersicht über Literatur, Definitionen und Methoden findet sich bei HABER (1958). Zahlreiche Autoren (z. B. LUNDEGARDH, 1924; FEHER, 1929 .) bezeichneten mit „Bodenatmung" nur den am Standort gemessenen Gaswechsel (oder nur die CO_2-Abgabe) ungestörter Bodenflächen, bezogen auf eine Flächeneinheit pro Zeiteinheit. Andere, wie z. B. SCHMALFUSS (1940) definierten Bodenatmung als CO_2-Produktion pro Gewichtseinheit Bodenprobe unter festgelegten Laboratoriumsbedingungen.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Quastel und Webley (1947), Rovira (1953), Chase (1953), Chase und Gray (1957), Bunt und Rovira (1955a, b), Naumann (1963) und Önal (1965) maßen mit der Warburg-Apparatur den Sauerstoffverbrauch (relativ kleiner) Bodenproben und verwendeten auch dafür den Ausdruck Bodenatmung. Drobnik (1958) beschrieb ein Respirometer, das die gleichzeitige Feststellung des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlendioxydabgabe ermöglicht.

Teal und Kanwisher (1961) untersuchten den Gasaustausch in den Salzsümpfen von Georgia (USA) und kombinierten die physiologisch orientierten Laboratoriumsexperimente mit den ökologisch ausgerichteten Feldmethoden insofern, als sie einerseits die O_2-Abnahme in luftdicht verschlossenen und gut durchgerührten Schlammproben mit Hilfe einer Sauerstoffelektrode verfolgten, andererseits Serien von Gasproben analysierten, die sie in regelmäßigen Zeitabständen dem Luftraum über gut durchgerührten wie auch über Proben mit unversehrter Oberfläche entnahmen. Außerdem verwendeten sie Elektroden für Tiefenprofile der Sauerstoffspannung und des Redoxpotentials im ungestörten Schlammboden.

In dieser Arbeit wird der unter womöglich optimalen Bedingungen im Laboratorium gemessene Sauerstoffverbrauch von Bodenproben, der als Maß für das „biologische Leistungspotential" (Haber, 1958) gelten kann, nicht als Bodenatmung bezeichnet, sondern dieser Ausdruck nur für die am Standort bei ungestörter Bodenoberfläche gemessene O_2-Aufnahme und CO_2-Abgabe als Maß der tatsächlichen „biologischen Aktivität" (Meyer, 1953) verwendet. Es wurde versucht, eine brauchbare Methode zum Vergleich des Sauerstoffverbrauchs von Schlammproben aus verschiedenen Bereichen des Schilfgürtels des Neusiedler Sees zu erarbeiten und die wichtigsten Einflüsse festzustellen.

II. Material und Methode

Die Untersuchungsfläche wurde nahe der Stadt Rust am Westufer des Neusiedler Sees gewählt, wo der Schilfgürtel ein bis zwei Kilometer breit ist. Die Proben wurden entlang einer Linie entnommen, die vom landseitigen Rand des Schilfgürtels etwa 400 m gegen die Seemitte in den Schilfgürtel hineinreicht. Die Untersuchungsfläche läßt sich nach dem Pflanzenbewuchs und der Wassertiefe in vier Zonen einteilen, die im folgenden kurz mit R I, R II, R III und R IV gekennzeichnet werden (genaue Beschreibung bei Imhof, 1967). R I, die landseitige Zone, mißt im Untersuchungsgebiet 50 m in der Länge und wird normalerweise nie vom Wasser

überflutet. Die Vegetation besteht aus *Carex acutiformis*, *Eleocharis uniglumis*, *Calamagrostis epigeios*, *Eriophorum angustifolium* und einer größeren Zahl weiterer Arten. In R II (50—200 m) herrschen nur mehr einige Pflanzenarten vor, nämlich *Phragmites communis* mit einem Unterwuchs von *Carex riparia*, *Bolboschoenus maritimus*, *Juncus articulatus* u. a. R II wird in normalen Jahren nicht vom See überflutet. Fast reine Bestände von *Phragmites communis* mit *Utricularia* als vorherrschender Wasserpflanze kennzeichnen R III und R IV Mit Ausnahme der Sommer- und Herbstmonate ist R III von Wasser bedeckt. Zwischen R III und R IV läßt sich keine scharfe Grenze angeben; die Wassertiefe nimmt mehr oder weniger gleichmäßig zu und beträgt in R IV bis zu 1 Meter. Der Boden von R IV ist ganzjährig überflutet. In den Jahren 1965 und 1966 war der Wasserspiegel infolge abnormal großer Niederschlagsmengen außergewöhnlich hoch, wodurch R II, R III und R IV das ganze Jahr unter Wasser standen. R I war nur am Beginn der Arbeiten (Februar 1966) kurze Zeit vom Wasser bedeckt, wegen der reichlichen Niederschläge trocknete der Boden aber nicht wie in durchschnittlichen Jahren aus, sondern blieb ziemlich naß und schlammig.

Die folgenden Methoden wurden in jeder der Zonen angewendet:

1. Probenentnahme:

Mehrere gleiche Proben wurden in jeder Zone entnommen. Aus dem Bohrkern von 15 cm Länge wurden mit einem scharfen Messer drei Schichten (0—1 cm, 5—6 cm und 10—11 cm Tiefe) herausgeschnitten und jede Schicht (20 cm^3) gesondert in eine dicht verschließbare Glasröhre verpackt. In dieser Arbeit sind die drei Schichten kurz mit a, b und c bezeichnet. Der Schlagbohrer mißt ungefähr 5 cm im Durchmesser und 150 cm in der Länge und stellt eine Abänderung des von Alexander und Jackson (1955) beschriebenen dar. Er besteht aus zwei ineinanderpassenden Stahlrohren, deren inneres zur Erleichterung der Entnahme der Probe der Länge nach in zwei Hälften geteilt ist und mit Hilfe eines Querstabes leicht aus dem Führungsrohr gezogen werden kann (Abb. 1).

2. Wassertiefe:

Die Wassertiefe der überfluteten Flächen wurde mit Hilfe einer Meßlatte als Mittel von 10 bis 20 Einzelmessungen festgestellt. Der Grundwasserspiegel der vom Wasser nicht überfluteten Bereiche konnte in einem kleinen Schacht, der zum Schutz gegen

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

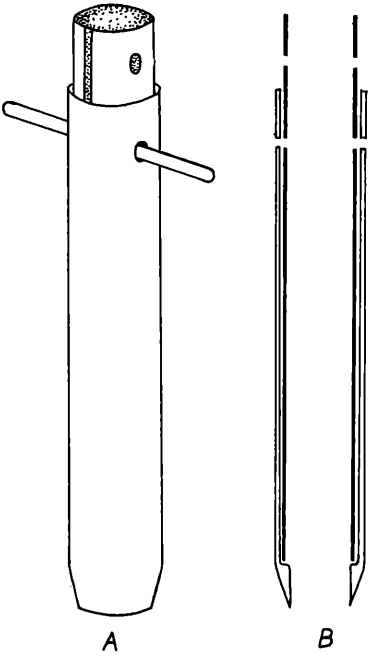

Abb. 1. Schlagbohrer. A Schrägansicht; B Längsschnitt.

das Regenwasser mit einer Blechplatte abgedeckt wurde, leicht mit dem Lineal gemessen werden.

3. Bodentemperatur:

Während jeder Probenentnahme wurde mit einem Bodenthermometer in 1, 5 und 10 cm Tiefe die Bodentemperatur in jeder Zone festgestellt. In der Zone IV registrierten außerdem selbstschreibende Meßgeräte der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik die Wasser- und Bodentemperatur.

4. Messung des Sauerstoffverbrauchs mit der Warburg-Apparatur:

Die Proben der gleichen Tiefenschicht jeder Entnahmestelle wurden sorgfältig gemischt und eine Reihe kleiner Zylinder von annähernd 1 ml Volumen daraus geformt, indem die Probe durch ein graduiertes Glasrohr gepreßt und in entsprechenden Abständen abgeschnitten wurde. Sollte der O_2-Verbrauch der frischen Probe gemessen werden, so begann der Versuch sofort nach dem Aufsammeln und Einbringen des Materials ins Laboratorium, sonst

wurden die kleinen Schlammzylinder zwei Tage lang bei Raumtemperatur und 30—40% RH getrocknet. Durch Wägungen vor und nach dem Trocknen ließ sich der Wassergehalt ermitteln. Zur Messung des Sauerstoffverbrauchs frischer oder vorgetrockneter Proben verwendeten wir eine Warburg-Apparatur (V 85 der Fa. Braun, Melsungen; 15 ml Reaktionsgefäße mit Normschliff NS 19 ohne Einsatzgefäße; Brodie-Lösung). Außer der Bodenprobe enthielt jedes Reaktionsgefäß drei Milliliter Wasser und zwanzig kleine Glaskugeln (2 mm Durchmesser).

Im Fall der vorgetrockneten Bodenproben erreichte der Sauerstoffverbrauch etwa eine halbe Stunde nach Versuchsbeginn einen konstanten Wert. Die Druckabnahme wurde viertelstündlich über einen Zeitraum von zwei bis zehn Stunden abgelesen und der Sauerstoffverbrauch nach der von UMBREIT, BURRIS und STAUFFER (1959) angegebenen Methode berechnet. Alle O_2-Werte sind in μl O_2/g Trockengewicht der Probe/h ausgedrückt.

5. Gehalt an organischer Substanz:

Der Gewichtsverlust, den vorgetrocknete Proben durch Veraschung im Muffelofen (600°C, 8 h) erleiden, wurde als annähernder Gehalt an organischer Substanz betrachtet. Er wurde bei der Berechnung auf das Trockengewicht bezogen.

6. Analyse des Wurzelgehaltes und der Korngrößenverteilung:

Die quantitative Analyse der Korngrößen und des Wurzelgehalts sollte eine Vorstellung von der Verteilung der einzelnen Größenklassen, der Menge der Wurzeln und ihrem Anteil am gesamten organischen Gehalt in den veschiedenen Zonen und Tiefenschichten des Untersuchungsgebietes geben. Die Sonderung der einzelnen Größenklassen erfolgte mit Hilfe eines Siebsatzes (0,5, 0,315, 0,125, 0,063 mm Maschenweite) und eines scharfen Wasserstrahls. Das Trockengewicht der einzelnen Fraktionen und das Trockengewicht der durch Flotation davon abgetrennten Wurzeln ist in % des Trockengewichts der ganzen Probe angegeben. Die Trocknung dauerte einen Tag bei 105°C. Der „Wurzelgehalt" bezieht sich nur auf die kleinen Wurzeln und sonstiges unzersetztes Pflanzenmaterial der für Atmungsmessungen verwendeten Proben, die großen Rhizome der Schilfpflanzen wurden nicht berücksichtigt.

7. Wasserstoffjonenkonzentration:

Zur Messung des p_H-Wertes der einzelnen Zonen und Tiefenschichten verwendeten wir ein Jonometer. Die Pufferung der Böden ist relativ gut, so daß die Meßergebnisse weitgehend gleichartig sind.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

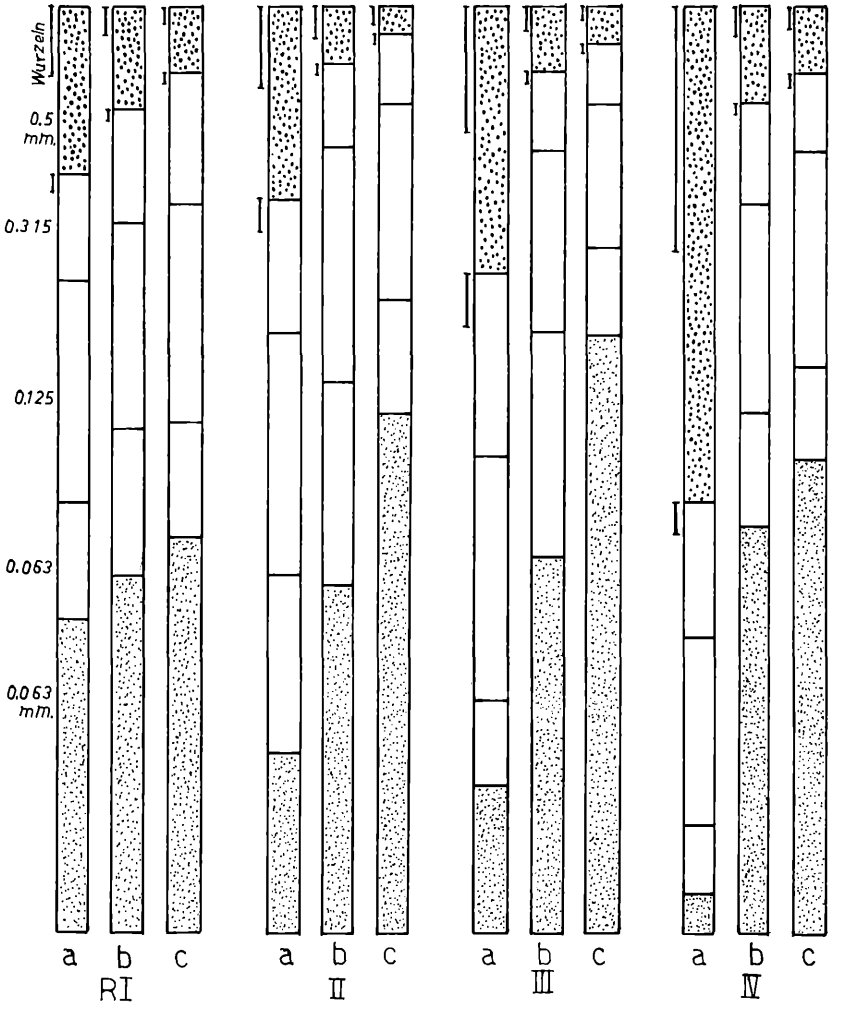

Abb. 2. Prozentueller Anteil verschiedener Korngrößenklassen an drei Tiefenschichten (a, b, c) der vier unterschiedenen Zonen (R I, R II, R III, R IV). Die Gesamthöhe jeder Säule stellt das Trockengewicht der ganzen Probe (100%) dar. Der Wurzelgehalt der zwei größten Fraktionen ist als Linie an der linken Seite der betreffenden Säule eingezeichnet.

III. Ergebnisse

1. Korngrößen und Wurzelgehalt:

Die oberflächliche Schicht (0—1 cm) der verschiedenen Zonen zeigt folgende Merkmale: Der Anteil der größten Korngrößenklasse (>0,5 mm) nimmt von R I nach R IV zu, im gleichen Verhältnis steigt auch der Wurzelgehalt. Die kleinste Korngrößenklasse (<0,06 mm) nimmt von R I bis R IV entsprechend ab, während die Verteilung der mittleren Klassen (0,3—0,06 mm) in allen vier Zonen weitgehend ähnlich ist (Abb. 2, 3).

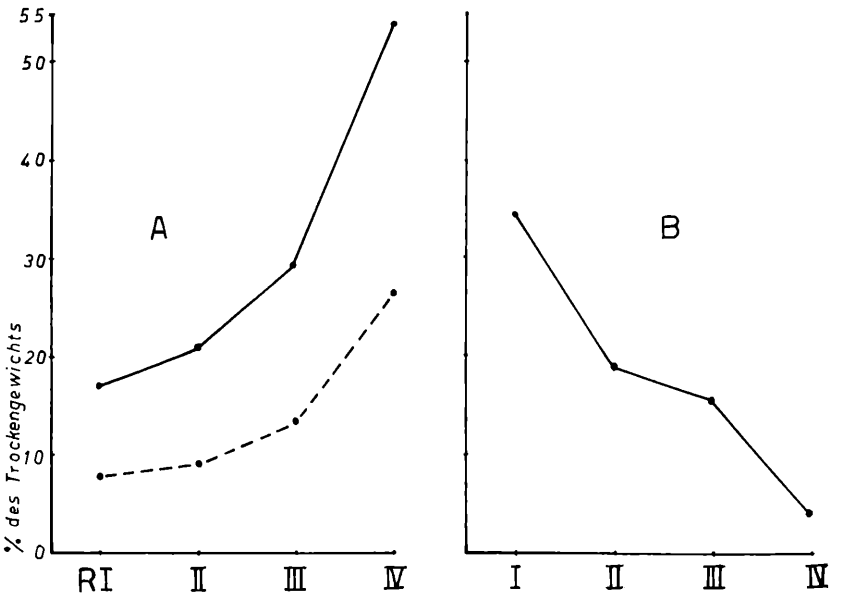

Abb. 3. Korngrößengehalt der a-Schicht (0—1 cm Tiefe) in den vier Zonen. A Nicht unterbrochene Linie = Korngröße über 0,5 mm, unterbrochene Linie = Anteil der Wurzeln; B Korngröße unter 0,063 mm.

Der Prozentsatz der Korngrößenklassen der b-Schicht (5 bis 6 cm) aller Zonen ist fast gleich. Ähnlich liegen die Verhältnisse in der tiefsten (c) Schicht, wo nur die kleinste Fraktion von R I nach R III stark zunimmt (Abb. 2).

Vergleicht man die Verteilung der Korngrößenklassen der drei Schichten innerhalb jeder Zone, so geht von a nach c die Abnahme der größten Klasse (und des Wurzelgehalts) mit der Zunahme der kleinsten Größenklasse parallel.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

2. Gehalt an organischer Substanz:

Der Anteil organischen Materials steigt von R I bis R IV an, während er von der Oberfläche bis in 11 cm Tiefe in allen Zonen stark zurückgeht. In der b- und c-Schicht aller Zonen ist er größenordnungsmäßig gleich, lediglich R II weist etwas höhere Werte auf (Abb. 4 A).

Der Detritus-Gehalt, durch Subtraktion des Wurzelgehalts vom gesamten Gehalt an organischen Stoffen berechnet, zeigt trotz zunehmenden organischen Gehalts von R I bis R IV eine leichte Abnahme in der oberflächlichen (a) Schicht (Abb. 4 B).

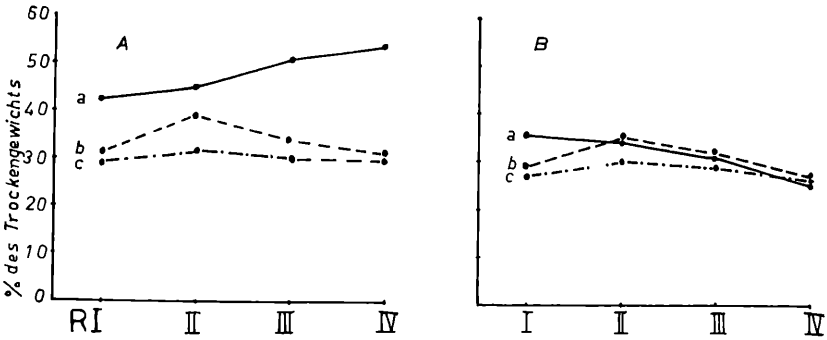

Abb. 4. Organischer Gehalt (A) und Detritus-Gehalt (B) in horizontaler (R I bis R IV) und vertikaler (a—c) Verteilung.

3. Wassergehalt:

Der Wassergehalt der vier Zonen wurde sechsmal mit erstaunlich gleichförmigem Ergebnis bestimmt. In der a-Schicht nimmt der Wassergehalt von R I nach R IV ungewöhnlich stark zu, in den beiden tieferen Schichten ist ebenfalls mit zunehmendem Abstand vom landseitigen Schilfrand eine Zunahme feststellbar. Wie aus der Abnahme der Wurzelmenge und des Gehalts an organischer Substanz zu erwarten ist, zeigen die b- und c-Schicht im Vergleich zur oberflächlichen a-Schicht einen viel geringeren Wassergehalt, was in R IV besonders auffällig wird (Abb. 5). Zu den Verhältnissen in R IVa muß noch gesondert bemerkt werden, daß eine „Bodenoberfläche" in dieser ständig überfluteten Zone nicht existiert. Ein äußerst lockerer Schwebschlamm fast rein organischer Herkunft bedeckt in einer 5—8 cm dicken Schicht die tieferen, an anorganischem Material reicheren Schichten. Bei der Probenentnahme mit dem beschriebenen Schlagbohrer werden die obersten Zentimeter dieses Lockermaterials nicht erfaßt, da

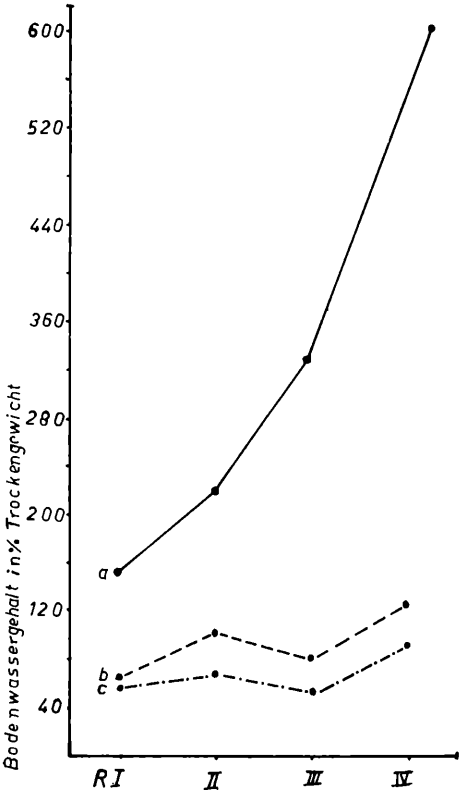

Abb. 5. Verteilung des Wassergehalts im Untersuchungsgebiet.

sie mit dem Wasser abfließen. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde die bei vorsichtigem Abgießen des Wassers zurückbleibende oberste Schicht als a-Schicht gewertet. Zwei bis drei Zentimeter tiefer zeigt sich dann eine scharfe Grenze dieses braunen, mit der Tiefe an Dichte zunehmenden Materials gegen die dunkelgrauen, mit organischen Anteilen angereicherten tieferen Lagen. Die b-Schicht entstammt dem oberen, die c-Schicht dem tieferen Bereich dieses grauen Materials.

4. Wasserstoffjonenkonzentration:

Ganz allgemein ist der p_H-Wert der verschiedenen Zonen ähnlich, und zwar leicht alkalisch. Von R I bis R III ist eine leichte Verringerung des p_H festzustellen, in R IV sind die Werte

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

(unter dem Einfluß der offenen Seefläche?) wieder etwas höher (Tab. 1).

Tab. 1: p_H-Wert-Verteilung im Untersuchungsgebiet.

Zone	R I			R II			R III			R IV		
Schicht	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
p_H	7,98	7,95	7,92	7,52	7,28	7,38	7,48	7,41	7,62	7,73	7,73	7,81

5. Der Einfluß des Wassergehalts auf den Sauerstoffverbrauch der Bodenproben:

Nach Féhér (1929), Rovira (1953), Chase (1953) und Önal (1965) spielt der Wassergehalt des Bodens für die gemessene Atmungsaktivität eine große Rolle. Die Böden im Schilfgürtel des Neusiedler Sees sind teils semiterrestrisch, teils subaquatisch, und der Wassergehalt schwankt zwischen 150 und 600% des Trokkengewichts, so daß für einen Vergleich der Bodenaktivität gleiche Ausgangsbedingungen gesucht werden mußten.

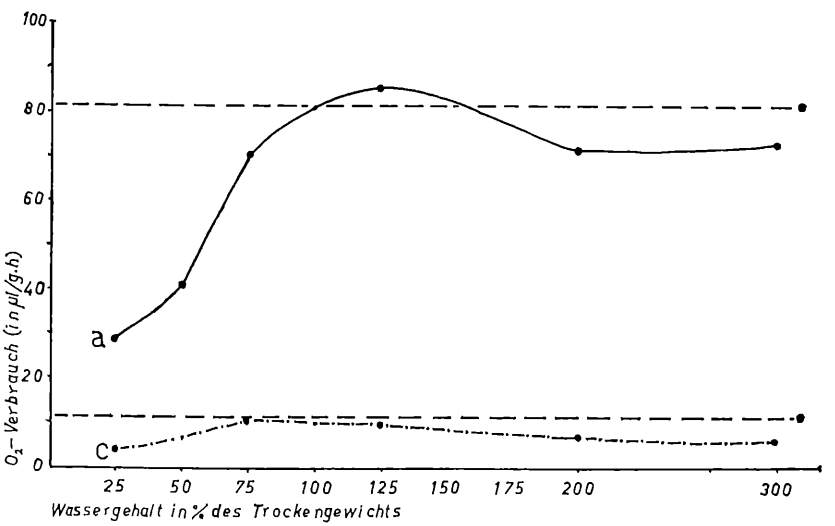

Abb. 6. Abhängigkeit des Sauerstoffverbrauchs vom Wassergehalt der Bodenprobe. a: a-Schicht von R I; c: c-Schicht von R I. Die unterbrochene Linie gibt das Niveau des Sauerstoffverbrauchs vorgetrockneter Proben, gemessen in suspendiertem Zustand, wieder.

Vorgetrocknete und wiederbefeuchtete Bodenproben von R I a und c wurden bei einem Wassergehalt von 25, 50, 75, 100, 125, 200 und 300 Prozent des Trockengewichts auf ihren Sauerstoffverbrauch geprüft. Den höchsten Verbrauch ergaben Proben mit 75—125% Wassergehalt. Diese Optimalwerte des Wassergehalts stimmen mit den von Rovira (1953) angeführten überein, wenn man nicht das Trockengewicht, sondern die maximale Wasserkapazität als Bezugsgröße nimmt. Die Größenordnung der so erhaltenen Werte des Sauerstoffverbrauchs ist gleich jenen Werten, die bei Suspension der Probe in 3 ml Wasser und beim Arbeiten mit hoher Schüttelfrequenz erzielt wurden (Abb. 6).

6. Vergleich der Atmungsaktivität frischer und getrockneter Bodenproben:

Bodenproben, deren Sauerstoffverbrauch in frischem Zustand bestimmt werden sollte, wurden in luftdicht verschlossenen Glasröhren ins Institut gebracht und sofort aufgearbeitet. Die Rate des Sauerstoffverbrauchs ist am Beginn des Versuchs sehr hoch, fällt aber im Verlauf von drei Stunden stark ab und erreicht nach 5 bis 10 Stunden ein annähernd konstantes Niveau (Abb. 7). Durch den Zusatz von je zwei Tropfen konz. Formalin zu einer Vergleichsserie von Proben läßt sich der Sauerstoffverbrauch durch Mikroorganismen weitgehend ausschließen. In dieser Weise behandelte Proben machen deutlich, daß der starke Sauerstoffverbrauch am Beginn der Experimente auf anorganische Oxydationsvorgänge zurückzuführen ist.

Den Sauerstoffverbrauch der Mikroorganismen erhält man, wenn man den Sauerstoffverbrauch anorganischer Prozesse von dem der unbehandelten Probe abzieht. Für diese Berechnung wurden die annähernd konstanten Verbrauchsraten am Ende des jeweiligen Experiments verwendet. Die auf diese Weise gewonnenen Werte des Sauerstoffverbrauchs der Mikroorganismen stimmen gut mit jenen überein, die an vorgetrockneten und in suspendiertem Zustand gemessenen Proben erhalten wurden (Abb. 8). In einigen Fällen sind die „Frischwerte“ etwas höher als die „Trockenwerte“, was darauf zurückzuführen ist, daß die konstante Verbrauchsrate der betreffenden frischen Proben noch nicht erreicht war.

Die anfängliche Höhe des Sauerstoffverbrauchs nimmt von der Oberfläche nach der Tiefe hin ab (Abb. 7). Sie kann daher als relatives Maß für die Menge oxydierbarer Substanzen in den einzelnen Schichten betrachtet werden. Bemerkenswert ist, daß auch in der oberflächlichen Schicht (0—1 cm) von R I reduzierende

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

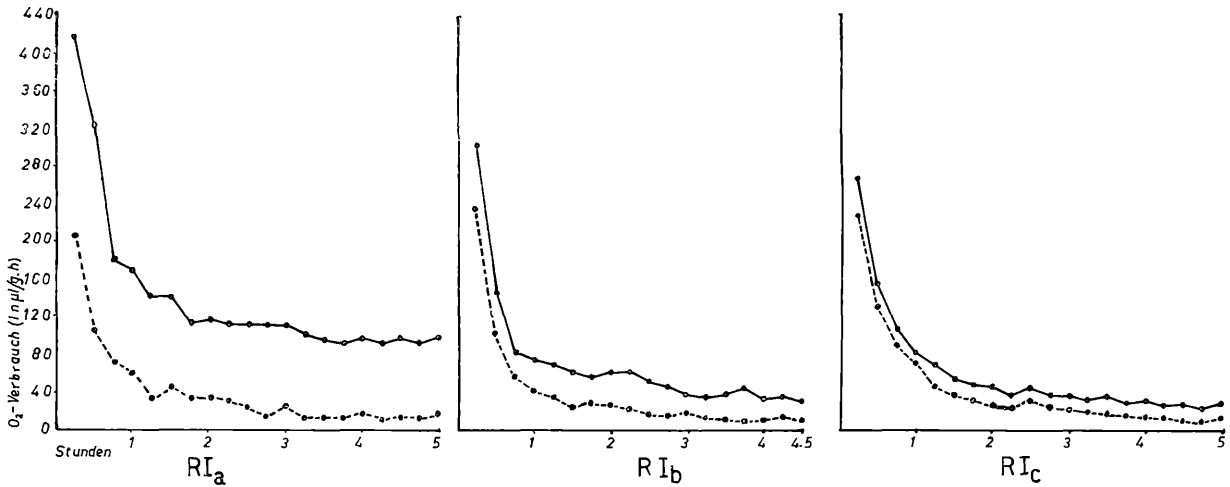

Abb. 7. Der Sauerstoffverbrauch nicht vorgetrockneter Bodenproben, ohne Formolzusatz (nicht unterbrochene Linie) und mit Formolzusatz (unterbrochene Linie).

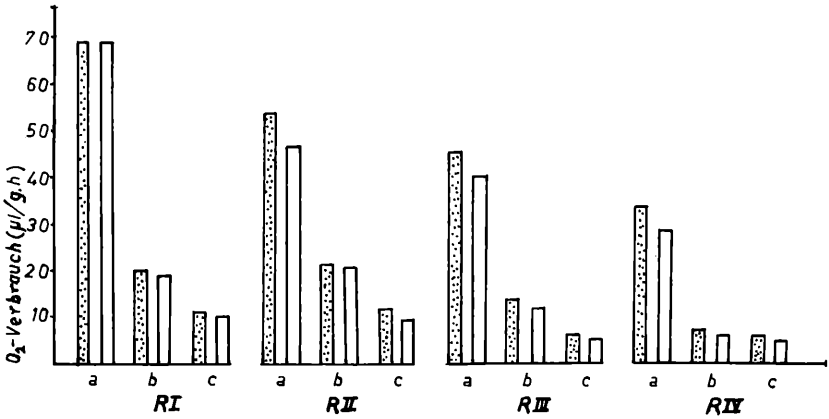

Abb. 8. Der Sauerstoffverbrauch frischer (punktiert) und vorgetrockneter Proben (nicht punktiert). Nähere Erläuterungen s. Text.

Bedingungen herrschen. Der Luftsauerstoff vermag in die feuchten Schlammböden offenbar kaum einige Millimeter einzudringen.

7. Vergleich des Sauerstoffverbrauchs der verschiedenen Zonen:

Für einen Vergleich des Sauerstoffverbrauchs von Proben der verschiedenen Bereiche des Schilfgürtels wurden getrocknete und dann in 3 ml Wasser suspendierte Proben verwendet, da der Sauerstoffverbrauch solcher Proben den Sauerstoffverbrauch der

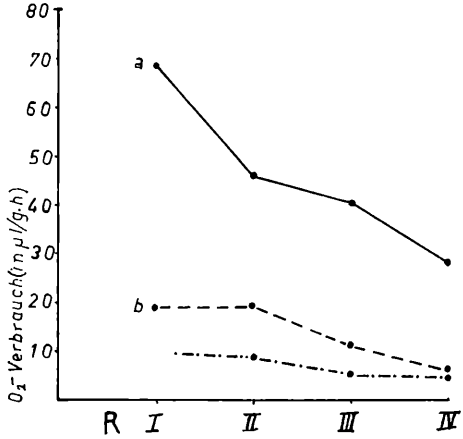

Abb. 9. Vergleich des Sauerstoffverbrauchs dreier Tiefenschichten (a, b, c) der vier Zonen. Mittelwerte aus je fünf Messungen.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

aeroben Mikroorganismen darstellt, wie in Kap. 6 dargestellt wurde.

Der Sauerstoffverbrauch der a-Schicht nimmt von R I bis R IV stark ab, während in den tieferen Schichten nur eine relativ geringe Änderung bemerkbar ist (Abb. 9). In allen vier Zonen verbrauchte die a-Schicht viel mehr O_2 als die beiden tieferen Schichten, wobei der Unterschied zwischen a und b viel ausgeprägter ist als zwischen b und c.

Die wiedergegebenen Werte stellen weitgehend eine Bodenkonstante dar, da sie bei achtmaliger Wiederholung im Verlauf der Sommermonate fast gleichblieben. Nach Abschluß dieser Serien soll über die geringen jahreszeitlichen Änderungen gesondert berichtet werden.

8. Der Einfluß der Temperatur auf die Atmung von Bodenproben:

Die Bodenatmung hängt stark von der Bodentemperatur ab (Féhér, 1929; Bunt und Rovira, 1955, Önal, 1965). Im Hinblick auf die Untersuchung der jahreszeitlichen Änderung der Bodenatmung wurde der Sauerstoffverbrauch einer Serie von Proben aus R I bei 10, 20, 30, 35, 40, 45 und 50°C gemessen. Die Meßdauer pro Temperaturschritt betrug eine Stunde mit ½ h Ausgleichszeit nach jeder Temperaturerhöhung. Die Respirationsrate steigt in der üblichen Weise bis 40° an, fällt von 40 bis 45° leicht und von 45 bis 50° stark ab (Abb. 10). Das Maximum dürfte bei etwa 42°C liegen. Bunt und Rovira (1955b) fanden eine ähnliche Zunahme von 10 bis 37° und dann eine Abnahme bis 50°.

IV. Diskussion

Die beschriebenen Methoden zur Messung der „Bodenatmung" (Lundegardh, 1924; Schmalfuss, 1940; Chase und Gray, 1953, 1957; Rovira, 1953; Bunt und Rovira, 1955a, b; Teal und Kanwisher, 1961; Naumann, 1963; Önal 1965) waren aus mehreren Gründen für einen Vergleich des QO_2 von Bodenproben der verschiedenen Zonen des Schilfgürtels schlecht geeignet. Vor allem bedingen die unterschiedlichen und wechselnden Wasserstandsverhältnisse große Unterschiede im Wassergehalt des Bodens und erschweren damit die Vergleichsmöglichkeit. Die Verwendung der Warburg-Apparatur erwies sich als brauchbar, wenn folgende Besonderheiten in der Behandlung der Proben eingehalten wurden: Die Bodenproben (1 ml) wurden bei Raumtemperatur und 30—40% RH getrocknet, im Warburg-Reaktionsgefäß in 3 ml Wasser suspendiert, 20 Glaskugeln hinzugefügt und während der Messung

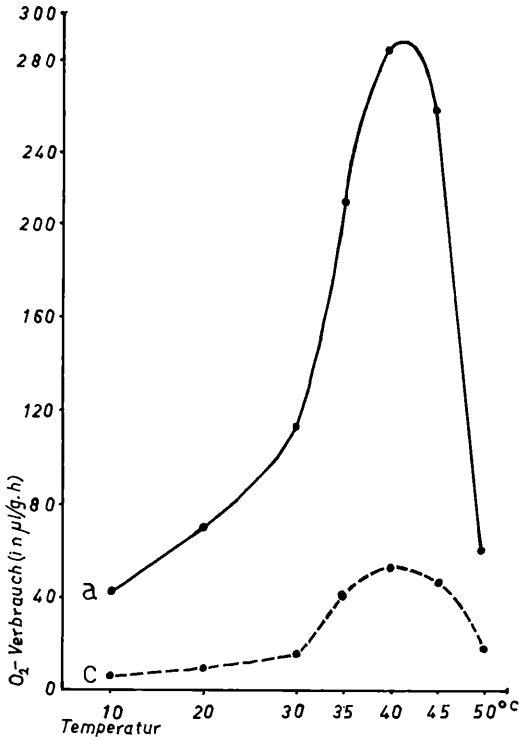

Abb. 10. Temperaturabhängigkeit des Sauerstoffverbrauchs von Bodenproben aus R I; a- und c-Schicht.

eine hohe Schüttelfrequenz (120/min) eingehalten. Diese Behandlungsweise wurde nach eingehenden Vorversuchen aus mehreren Gründen gewählt:

1. Bakterien machen den größten Teil der Mikroorganismen der Schlammböden aus, während die übrige Mikrofauna relativ schwach entwickelt ist (Baerman-Trichter, Imhof, 1967) und nur ein kleinerer Teil der Bodenatmung durch sie verursacht wird (Teal und Kanwisher, 1961).

2. Das Trocknen der Bodenproben bei Raumtemperatur hat den Vorteil, daß störende Gase entweichen und reduzierte Substanzen oxydiert werden. Der Einfluß auf die Bodenbakterien ist unbedeutend, wie aus der Konstanz der Ergebnisse über 10 bis 12 Stunden Meßdauer hervorgeht (vgl. auch Rovira, 1953,

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Chase und Gray, 1957; Bunt und Rovira, 1955a, b; Naumann, 1963; Önal, 1965).

3. Der Sauerstoffverbrauch vorgetrockneter Proben entspricht genau dem frischer Proben, wenn man von letzterem die für die Oxydation reduzierter Substanzen verbrauchte O_2-Menge abzieht. Man mißt also den O_2-Verbrauch der aeroben Bakterien.

4. Nach Chase und Gray (1957) folgt der Sauerstoffverbrauch wiederbefeuchteter luftgetrockneter Bodenproben nach dem Abklingen der anfänglichen Erhöhung tagelang einer logarithmischen Funktion, bis infolge des Verbrauchs leichtzersetzbaren Substrats eine Änderung der Zersetzungsrate eintritt. Nach Rovira (1953) und unseren Erfahrungen kann der Sauerstoffverbrauch in den ersten 12 Stunden als konstant angesehen werden.

5. Der Sauerstoffverbrauch suspendierter Bodenproben entsprach dem Sauerstoffverbrauch von nichtsuspendierten mit optimalem Wassergehalt. Zur Verhinderung einer Sedimentation der suspendierten Schlammteilchen ist der Zusatz von Glaskugeln und eine hohe Schüttelfrequenz nötig.

Bei Einhaltung der beschriebenen Arbeitsweise ließen sich folgende Schlüsse ziehen:

1. Der Sauerstoffverbrauch der oberflächlichen Schicht nimmt von R I nach R IV stark ab (Abb. 9). Diese Abnahme ist positiv korreliert mit dem Anteil der kleinsten Korngröße ($<$0,063 mm) und dem Detritusgehalt (Abb. 3, 4), negativ korreliert dagegen mit dem Anteil der größten Korngrößenklasse ($>$0,5 mm), dem Wasser- und dem Wurzelgehalt (Abb. 3, 5). Daraus läßt sich schließen, daß hauptsächlich die kleinste Korngrößenklasse den leichter zersetzbaren Anteil der organischen Substanz enthält. Aus der Konstanz der O_2-Aufnahme während 10- bis 12stündiger Versuche und aus den genannten Korrelationen ist weiterhin zu schließen, daß die Sauerstoffverbrauchsrate hauptsächlich durch den Gehalt an zersetzbarer Substanz bestimmt wird und ein relatives Maß für diesen darstellt. Dies stimmt mit dem Hinweis Engels (1934) gut überein, daß die Zahl der Bodenbewohner primär von der organischen Substanz im Boden abhängt, ihre biochemische Aktivität dagegen von den physikalischen und chemischen Bodenfaktoren. Werden letztere, wie im gegenständlichen Fall Wassergehalt und O_2-Zufuhr, optimal gehalten, so muß umgekehrt die biochemische Aktivität als Maß der organischen Substanz brauchbar sein.

2. Ganz gegen die Erwartung ergab die Oberflächenschicht des wenig überfluteten Teiles (R I) den höchsten Sauerstoffverbrauch, was bedeutet, daß sie einen großen Gehalt an leicht zer-

setzbarem Material aufweist. Dies ist auf die dicht gepackte Struktur und den relativ hohen Anteil der kleinsten Korngrößen zurückzuführen, so daß ein Eindringen des O_2 in den Schlamm stark erschwert ist, was auch durch die Anhäufung reduzierter Stoffe sichtbar wird (Abb. 7). Änderungen dieser Verhältnisse während der sommerlichen Austrocknung werden noch gesondert beschrieben.

3. Im Gegensatz zu R I sind die oberflächlichen Schichten der Unterwasserböden infolge des geringeren Gewichtes unter Wasser, des hohen Anteils der großen Korngrößenklasse und Wurzeln und des dadurch bedingten hohen Wassergehalts in einem schwebenden Zustand, wodurch ein Abbau leicht zersetzbarer Stoffe, wahrscheinlicher aber noch ein Absinken in tiefere Schichten begünstigt wird. R II und R III nehmen vermutlich deshalb eine Mittelstellung ein, weil durch die normalerweise jährliche Austrocknung eine regelmäßige Entwässerung erfolgt, was eine dichtere Lagerung des Schlammes und damit eine Erschwerung des Sauerstoffzutritts zur Folge hat. Der Anteil der Vegetation am beobachteten Gefälle des Sauerstoffverbrauchs und damit des Gehalts zersetzbaren Materials von R I bis R II läßt sich ohne Kenntnis der Höhe der Primärproduktion nicht abschätzen, doch scheint aus den angeführten Gründen der Wasserstand und damit die zeitweise Austrocknung bzw. Entwässerung eine entscheidende Rolle zu spielen.

4. Der Sauerstoffverbrauch und der Detritusgehalt der tieferen b- und c-Schicht aller Zonen sind ähnlich (Abb. 3, 4). Trotz des gleichen Detritusgehalts in allen Zonen und Schichten ist der Sauerstoffverbrauch der tieferen Schichten im Vergleich zur Oberfläche gering. Es muß also in den tieferen Schichten eine Anhäufung für aerobe Bakterien schwerer zersetzbaren Materials stattfinden. Die weitere Zersetzung dieses Materials ist auf aerobe Vorgänge bei stärkerer Austrocknung der Schilfflächen und anaeroben Abbau während der übrigen Zeit beschränkt und dürfte nur sehr langsam vor sich gehen.

V. Zusammenfassung

1. Die Bodenaktivität des Schilfgürtels des Neusiedler Sees wurde durch Messung des Sauerstoffverbrauchs von Bodenproben und durch Analyse der wichtigsten Einflüsse auf diesen untersucht. Nach Wasserhöhe und Vegetation wurde das Untersuchungsgebiet in vier Zonen (R I bis R IV) geteilt. In jeder Zone wurden Serien von Proben in 0—1, 5—6 und 10—11 cm Tiefe genommen (a-, b-, c-Schicht).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

2. Die vier Zonen weichen in Wassertiefe, Vegetation, Korngröße, Wurzelgehalt, Detritus- und Wassergehalt stark voneinander ab. R I ist meist ganzjährig trocken, R II, R III und R IV waren im untersuchten Zeitraum überflutet. Vegetation: Carex-Wiese in R I, Phragmites und Carex in R II, Phragmites in R III und Phragmites mit Utricularia in R IV

3. Wurzelgehalt, Gehalt an organischen Stoffen und größte Korngröße nehmen von R I nach R IV zu und von a nach c innerhalb jeder Zone ab. Der Detritusgehalt und die kleinste Korngröße nehmen in a von R I nach R IV ab. Der Prozentsatz aller Korngrößen in b und c aller Zonen ist ähnlich, nur die kleinste nimmt in c von R I bis R III zu. Der p_H ist leicht alkalisch und verändert sich wenig.

4. Der Sauerstoffverbrauch der Bodenproben wurde im Warburg-Apparat gemessen, nachdem die Proben meist zwei Tage vorgetrocknet und während der Messung in 3 ml Wasser suspendiert wurden. Diese Behandlung hat den Vorteil, daß durch das Trocknen die Gase entweichen und die reduzierten Stoffe oxydiert werden. Auf die aeroben Bakterien hat das Trocknen so gut wie keinen Einfluß.

5. Der Sauerstoffverbrauch „trockener" Proben ist gleich dem „frischer", wenn man den Sauerstoffverbrauch der anorganischen Oxydationsvorgänge abzieht.

6. Der Sauerstoffverbrauch von Proben, gemessen in flüssiger Phase (im suspendierten Zustand), und von wiederbefeuchteten Proben mit optimalem Wassergehalt ist gleich hoch.

7. Der Sauerstoffverbrauch hängt hauptsächlich vom Vorhandensein leicht zersetzbaren Materials ab, wie aus dem Vergleich des QO_2 der verschiedenen Zonen mit den analysierten Faktoren hervorgeht.

8. Der Vorrat an leichter zersetzbarem Material nimmt von R I bis R IV ab, wie aus dem abnehmenden QO_2 und Detritusgehalt zu schließen ist. In den tieferen Schichten findet eine beträchtliche Anhäufung relativ schwerer zersetzbaren Materials statt.

VI. Literatur

Alexander, F. E. S. and R. M. Jackson: Preparation of sections for study of soil microorganisms. Soil Zoology. D. K. McE. Kevan ed. S. 435. London. Butterwurths Scientific Publications 1955.

Bunt, J. S. and A. D. Rovira: Microbiological studies of some subantarctic soils. J. Soil Sci. 6: 119—128. 1955a.

— The effect of temperature and heat treatment on soil metabolism. J. Soil Sci. 6: 129—136. 1955b.

CHASE, F. E. and P. H. H. GRAY: Use of the Warburg respirometer to study microbial activity in soils. Nature 171: 481. 1953.

— Application of the Warburg respirometer in studying respiratory activity in soil. Can. J. Microbiol. 3: 335—339. 1957.

DROBNIK, J.: An apparatus for studying respiration in a soil sample. Folia Biologica IV (3): 188—192. 1958.

ENGEL, H.: Kritische Bemerkungen zur „Bodenatmung". Zbl. Bakteriol. Abt. II, 90: 158. 1934.

FEHÉR, D.: Untersuchungen über den zeitlichen Verlauf der Bodenatmung und der Mikrobentätigkeit des Waldbodens. Biochem. Z. 206: 416. 1929.

HABER, W.: Ökologische Untersuchung der Bodenatmung. Flora 146: 109—157. 1958.

IMHOF, G.: Ökologische Gliederung des Schilfgürtels am Neusiedler See und Übersicht über die Bodenfauna unter produktionsbiologischem Aspekt. Sitz.-Ber. Österr. Akad. Wiss. (in Druck).

LUNDEGARDH, H.: Der Kreislauf der Kohlensäure in der Natur. Jena, Gustav Fischer, 1924.

MEYER, L.: zit. nach HABER, 1958.

NAUMANN, K.: Bodenatmungsmessungen mit der Warburg-Apparatur. Zbl. Bakt., II. Abt., 116: 502—511. 1963.

ÖNAL, M.: Untersuchungen über die Bodenatmung mit der Warburg-Apparatur. Ber. Dt. Botan. Ges. 78 (3): 130—138. 1965.

QUASTEL, J. H. and D. M. WEBLEY: The effects of the addition to soil of alginic acid and other forms of organic matter on soil aeration. J. Agr. Sci. 37: 257—266. 1947.

ROVIRA, A. D.: Use of the Warburg apparatus in soil metabolism studies. Nature 172: 29—30. 1953.

SCHMALFUSS, K.: Über Bodenatmung. Bodenkde. und Pflanzenernährung, NF 21—22 (66—67): 442—454. 1940.

TEAL, J. M. and J. KANWISHER: Gas exchange in a Georgia salt marsh. Limn. Oceanogr. 6 (4): 388—399. 1961.

UMBREIT, W. W., R. H. BURRIS, and J. F. STAUFFER: Manometric techniques. Minneapolis. Burgess Publishing Co. 1959.